

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-083884

(43)Date of publication of application : 31.03.1995

(51)Int.Cl.

G01N 27/90

(21)Application number : 05-252363

(71)Applicant : MIYA KENZO
SUMITOMO PRECISION PROD CO
LTD
NUCLEAR FUEL IND LTD

(22)Date of filing : 14.09.1993

(72)Inventor : MIYA KENZO
KAMISAKA MITSURU
KASAI KAZUO
SATO YASUHIKO
AOKI KAZUHIKO
KOMATSU HIDENOBU
MATSUMOTO YOSHIHIRO

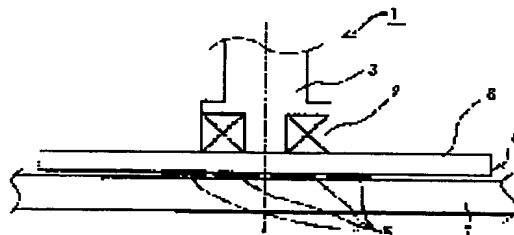
(54) FLAW EXAMINATION METHOD, FLAW EXAMINATION DEVICE AND FLAW EXAMINATION SENSOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a flaw examination method, a flaw examination device or the like having the capability of examining a flaw with high accuracy and quantitatively evaluating a flaw shape.

CONSTITUTION: This flaw examination method is used to examine a flaw existing in a specimen 7, with alternating magnetic field applied to the specimen 7 and the flaw examination range thereof scanned, while a change in the alternating magnetic field being detected with a magnetism detection means 4. This means 4 has a plurality of magnetism detection elements 5 two-dimensionally arranged in a scanning direction and a direction intersecting the scanning direction.

Furthermore, a plurality of the elements 5 of the means 4 are used to measure the strength of magnetic field intersecting the surface of the specimen 7 and/or the distribution of phase changes, thereby detecting a flaw. Also, the device may have a plurality of the elements 5 of the means 4 arrayed along the surface contour of the specimen 7 or otherwise.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.08.1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 28.04.1998

[Kind of final disposal of application other than

the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-83884

(43) 公開日 平成7年(1995)3月31日

(51) Int.Cl.⁵
G 0 1 N 27/90

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平5-252363

(22) 出願日 平成5年(1993)9月14日

特許法第30条第1項適用申請有り 1993年3月15日~3月16日 日本AEM学会主催の「第2回MAGDA-コンファレンス」において文書をもって発表

(71) 出願人 593187102

宮 健三

茨城県那珂郡東海村白方白根2番地の22
東京大学工学部附属原子力工学研究施設

(71) 出願人 000183369

住友精密工業株式会社

兵庫県尼崎市扶桑町1番10号

(71) 出願人 000165697

原子燃料工業株式会社

東京都港区虎ノ門四丁目3番13号

(74) 代理人 弁理士 佐藤 正年 (外1名)

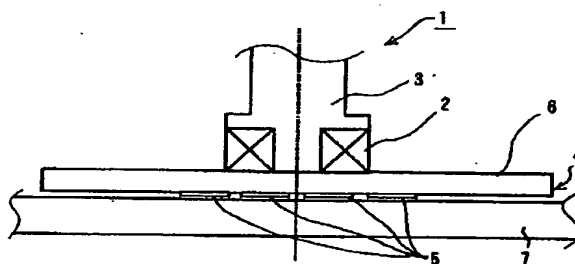
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 探傷検査方法、探傷検査装置、及び探傷検査用センサ

(57) 【要約】

【目的】 従来の渦電流探傷検査法に比べ格段に高精度の探傷を行えると共に欠陥形状の定量評価ができる探傷検査方法及び装置等を得ること。

【構成】 被検体7に対して交流磁場を印加すると共に該交流磁場の变化を磁気検出手段4により検出しつつ被検体の探傷検査範囲を走査して該被検体7に存在する欠陥を検査する探傷検査方法で、磁気検出手段4は、前記走査方向と、該走査方向と交叉する方向とに二次元的に配列された複数の磁気検出素子5を有するものであり、該磁気検出手段4の複数の磁気検出素子5を用いて、被検体表面に交叉する磁場の強度及び/又は位相の変化の分布を測定することにより欠陥を検出する方法。また、磁気検出手段4の複数の検出素子5が被検体の表面形状に沿って配列されたもの等を開示する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 被検体に対して交流磁場を印加すると共に該交流磁場の変化を磁気検出手段により検出しつつ被検体の探傷検査範囲を走査して該被検体に存在する欠陥を検査する探傷検査方法であって、

前記磁気検出手段は、前記走査方向と、該走査方向と交叉する方向とに二次元的に配列された複数の磁気検出素子を有するものであり、

該磁気検出手段の複数の磁気検出素子を用いて、被検体表面に交叉する磁場の強度及び／又は位相の変化の分布を測定することにより前記欠陥を検出することを特徴とする探傷検査方法。

【請求項2】 被検体に対して交流磁場を印加する交流磁場印加手段と、磁場の強度を測定する二次元的に配列された複数の検出素子を有する磁気検出手段とを備えた探傷検査用センサと、

前記探傷検査用センサと前記被検体とを近接させつつ両者の相対位置を変化させる移動手段とを備え、

前記磁気検出手段の複数の検出素子を用いて、被検体表面に交叉する磁場の強度及び／又は位相の変化の分布を測定することにより前記欠陥を検出することを特徴とする探傷検査装置。

【請求項3】 被検体に対して交流磁場を印加する交流磁場印加手段と、

磁場の強度を測定する二次元的に配列された複数の検出素子を有する磁気検出手段とを一体に備えてなる探傷検査用センサ。

【請求項4】 前記磁気検出手段の複数の検出素子は、被検体の表面形状に沿って配列されたものであることを特徴とする請求項2に記載の探傷検査装置。

【請求項5】 前記交流磁場印加手段の、被検体側の面と、該被検体側の面の反対側の面とに前記磁気検出手段が設けられたことを特徴とする請求項4に記載の探傷検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、探傷検査方法、探傷検査装置、及び探傷検査用センサに関し、特に極めて高精度の探傷を行うことができ、さらに欠陥の長さや深さ、向きなどの検出をも行うことができる探傷検査方法、探傷検査装置、及び探傷検査用センサに関するものである。

【0002】

【従来の技術】材質や形状寸法を変化させることなく検査対象物の健全性を検査する被破壊検査法には、超音波検査や磁気検査、放射線透過検査など、各種の検査法が用いられているが、このような被破壊検査法のうち、例えばPWR原子力プラントの蒸気発生器細管の定期検査などには、比較的短時間で簡便に探傷できることから渦電流探傷検査法（ECT）が広く用いられている。

【0003】この渦電流探傷検査法は、磁気検査法の一で、次のような原理により被検査物に生じた欠陥や被検査物に付着した付着物を検出するものである。すなわち、交流を通じて変化する磁界の中に導体を置いたり近づけたりすると置かれた導体（金属材料）の内部には磁束の変化を妨げようとする方向に渦電流が流れるが、この渦電流は導体の材質や欠陥の存在、異種金属の付着などによって異なるものとなる。

【0004】したがって本検査法では、コイルにより被検査物（金属材料）に対して交流磁界を印加し、被検査物に生じる渦電流の発生状態を測定することにより被検査物に生じた局所的な材質の変化や欠陥、異種金属の付着の有無などを検出する。渦電流の発生状態の変化は、交流磁界を印加するためのコイルのインピーダンスの変化や、或いは該コイルとは別個に設けられた検出用のコイルに発生する起電力の変化として測定することができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述のような従来の渦電流探傷検査法では、極めて微小な欠陥までは検出することができず、また、欠陥の長さや向き、検査表面側にあるのか或いは裏面側にあるのか、その深さなどの検出は不可能で、欠陥形状の定量評価ができないとの問題があった。

【0006】特に原子力の分野においては原子炉の安全性を保障するためにも現在広く用いられている渦電流探傷法における前記問題の解決が望まれており、また、その他種々の分野において欠陥の検出能力の向上、並びに欠陥形状の定量評価の実現の要請は大きい。

【0007】本発明は、このような要請に応えるもので、微小な欠陥の検出を行うことができ、然も欠陥形状の定量評価をも行うことができる探傷検査方法、探傷検査装置、及び探傷検査用センサを提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成すべく、本願の請求項1の発明は、被検体に対して交流磁場を印加すると共に該交流磁場の変化を磁気検出手段により検出しつつ被検体の探傷検査範囲を走査して該被検体に存在する欠陥を検査する探傷検査方法であって、前記磁気検出手段は、前記走査方向と、該走査方向と交叉する方向とに二次元的に配列された複数の磁気検出素子を有するものであり、該磁気検出手段の複数の磁気検出素子を用いて、被検体表面に交叉する磁場の強度及び／又は位相の変化の分布を測定することにより前記欠陥を検出することを特徴とする探傷検査方法に係るものである。

【0009】請求項2の発明は、被検体に対して交流磁場を印加する交流磁場印加手段と、磁場の強度を測定する二次元的に配列された複数の検出素子を有する磁気検出手段とを備えた探傷検査用センサと、前記探傷検査用

センサと前記被検体とを近接させつつ両者の相対位置を変化させる移動手段とを備え、前記磁気検出手段の複数の検出素子を用いて、被検体表面に交叉する磁場の強度及び／又は位相の変化の分布を測定することにより前記欠陥を検出することを特徴とする探傷検査装置に係るものである。

【0010】請求項3の発明は、被検体に対して交流磁場を印加する交流磁場印加手段と、磁場の強度を測定する二次元的に配列された複数の検出素子を有する磁気検出手段とを一体に備えてなる探傷検査用センサに係るものである。

【0011】請求項4の発明は、前記請求項2の発明において、前記磁気検出手段の複数の検出素子は、被検体の表面形状に沿って配列されたものであることを特徴とする探傷検査装置に係るものである。

【0012】請求項5の発明は、前記請求項4の発明において、前記交流磁場印加手段の、被検体側の面と、該被検体側の面の反対側の面とに前記磁気検出手段が設けられたことを特徴とする探傷検査装置に係るものである。

【0013】

【作用】前記のように構成された本発明においては、被検体に対して交流磁場を印加すると共に該交流磁場の変化を前記磁気検出手段により検出しつつ被検体の探傷検査範囲を走査する。磁気検出手段は、前述のように走査方向と、該走査方向と交叉する方向とに二次元的に配列された複数の磁気検出素子を有するものであり、このような磁気検出手段の複数の磁気検出素子を用いて被検体表面に交叉する磁場の強度及び／又は位相の変化の分布を測定することで、欠陥の存在、並びにその欠陥の長さや深さ、向きなどの欠陥形状の検出が可能となる。

【0014】また、請求項4乃至5の発明においては、前述のように磁気検出手段の複数の検出素子が被検体の表面形状に沿って配列されているため、検査時に該複数の検出素子のすべてを被検体に一定の距離を隔てて近接させることが可能となる。したがって、検出素子の一部が被検体から離れることによる外乱ノイズの混入を防止することができ、S/N比の向上、欠陥検出能力の向上が図られる。以下、実施例を通じて本発明をさらに詳しく説明する。

【0015】

【実施例】本発明の一実施例に係る探傷検査方法並びに該検査方法に用いられる検査装置について説明するが、この検査方法は、被検体（被検査物）に交流磁場を印加する励起コイルと、多数の小型の検出素子を備えた磁気検出器とからなる探傷検査用センサ（以下、「マイクロECTプローブ」と称する。）を被検体に近接配置して被検体に交流磁場を印加し、被検体の欠陥によって乱された渦電流が作る磁場を前記多数の小型検出素子を用いて測定することにより微小欠陥の検出能力を高めると

もに、欠陥形状の定量評価を可能とするものである。

【0016】ここで、「欠陥形状の定量評価」とは、①欠陥の向き（被検体表面に平行なXY面内における欠陥の方向）、②欠陥の位置（被検体表面に平行なXY面内における欠陥の位置）、③欠陥の長さ、及び④被検体の厚さ方向に関する欠陥の位置（マイクロECTプローブ側にあるのか（この欠陥を「上側欠陥」と称する。）或いはマイクロECTプローブとは反対側にあるのか（この欠陥を「下側欠陥」と称する。）及びその深さ）についての評価をいうが、本発明はこれら評価項目（①～④）のすべてを検出するものに限定されるものではなく、これらの評価項目のうちいずれを検出するものも本発明に含まれるものである。

【0017】図1は前記本発明の一実施例に係る探傷検査装置が備えるマイクロECTプローブの構成を示す側面図、図2は平面図である。これらの図に示すように、該マイクロECTプローブ1は、被検体7に交流磁場を印加するバンケーキ型の励起コイル2と、励起コイル2の下面に一体に設けられた磁気検出器4とからなる。なお、励起コイル2は芯3を有する。

【0018】磁気検出器4は、二次元的に配列された複数の検出素子5を備えるものであり、本実施例の場合には、 4×4 、すなわち16個の検出素子A～Pを備える。なお、検出素子5の数はこれに限定されるものではない。図3は検出素子5の一つを取り出しその構成を拡大して示した平面図であるが、同図に示すように、各検出素子5は、銅製のマイクロコイル5aと電極5bとからなり、銅製マイクロコイル5aは、線幅0.008mmで、リソグラフィ技術により直接石英基盤6上に作製される。

【0019】図4は、本実施例に係る探傷検査装置の全体構成を示すブロック図であるが、同図に示すように該検査装置は、図1乃至図2に基づいて説明した前記マイクロECTプローブ1、XYZθステージ42、ステージコントローラ43、44、ファンクションシンセサイザ45、リレーボード46、ロックインアンプ47、及びコンピュータ48を備えるものである。

【0020】マイクロECTプローブ1は、XYZθステージ42により、被検体7に平行な面（XY直交座標）内におけるXY方向、及び被検体7に直交する方向（Z方向）に移動可能に構成されており、さらに励起コイルの中心軸の傾き角度θを変化させることができる。これらの駆動は、インターフェイスを通してコンピュータ48からの命令により、XYZ用ステージコントローラ43とθ用ステージコントローラ44とにより行われる。

【0021】ファンクションシンセサイザ45は、マイクロECTプローブ1の励起コイルに交流電圧を印加するとともに、該交流電圧の位相信号を、参照信号としてロックインアンプ47に入力するものである。

【0022】リレーボード46は、マイクロECTプローブ1に設けられた複数の検出素子5からの電圧信号（EMF出力）をコンピュータ48からの命令によってスイッチングして、個々の検出素子5からの出力として順次ロックインアンプ47に入力するものである。

【0023】ロックインアンプ47は、前記検出素子5からの出力を、ファンクションシンセサイザ45から入力された前記参照信号と比較することにより、各検出素子5からの起電力EMF及び位相差 ϕ （励起コイルの起電力との位相差）を検出するもので、この検出信号はコンピュータ48に入力されデータ処理される。

【0024】次に、かかる構成の探傷検査装置を用いた探傷検査方法について、図7のフローチャートに基づいて説明する。まず、ステップ701で探傷検査を開始すると、ステップ702乃至704でマイクロECTプローブ1により探傷検査を行うべき範囲の走査が行われる。

【0025】すなわち、図5(a)は該走査の様子を説明する側面図、同図(b)は同じく該走査の様子を説明する平面図、図6は図5に示したマイクロECTプローブの拡大平面図（磁気検出器4のみを示す。）であるが、これらの図に示すように、マイクロECTプローブは、被検体に平行なXY直交座標系に対して、検出素子K、C、A、EがX軸と平行になるように、また、検出素子N、B、D、HがY軸と平行になるように配置される。

【0026】そして、各検出素子からのデータを収集しつつX軸方向の走査を行い、探傷検査を行うべき範囲のX方向を走査した後、Y軸方向（同図ではY軸の負方向にずらしている）に1ピッチずらして再びX軸方向を走査する、という工程を繰り返し、検査範囲のすべてを走査してデータの収集を行う（ステップ704）。

【0027】そして、ステップ705で、かかる走査の結果、検出素子が起電力EMFの変化 ΔEMF を検出しない場合には欠陥がないとの判断がなされる（ステップ711）。一方、起電力の変化 ΔEMF が検出された場合には欠陥があると判断されてステップ706に進む。

【0028】ステップ706では欠陥の向きが判定されるが、検査範囲内のある点において前記検出素子K、C、A、Eにより同時に ΔEMF が検出された場合には、該点においてX方向に延在する欠陥があるものと判定がなされ（「X方向欠陥」と称する。これに対してY方向に延在する欠陥を「Y方向欠陥」と称する。）、ステップ707に進む。

【0029】ステップ707では、検出素子Kの ΔEMF の半値幅から欠陥の位置（XY座標系における位置）と欠陥の長さとの判定がなされる。図8は一例として長さ3mmの欠陥について、プローブの位置と、検出素子Kの起電力EMF及び位相との関係を示す線図であるが、同図から明らかなように、EMFの半値幅はプローブ位置1

2mm～15mmの位置に対応しており、このように欠陥の長さ（この場合、3mm）と、該欠陥のXY平面内における位置（X方向の位置）が同定できる。

【0030】次に、ステップ708では、欠陥のY方向の位置が判定される。このY方向の位置を判定するには、検出素子のどの位置でプローブが欠陥を通過したのかを検出する必要がある。すなわち、図9に示すように、前記検出素子K、C、A、Eの中心を基準とすると、この基準線と欠陥とのずれdが求められればよい。

【0031】図10は被検体の厚さ方向に対する欠陥の深さが20%～100%の欠陥について、前記Y方向のずれd（横軸）と、 $\Delta EMF(K)_p / \Delta EMF(J)_p$ （縦軸）との関係を示す線図である。なお、 $\Delta EMF(K)_p$ は、検出素子Kの ΔEMF の最大値であり、 $\Delta EMF(K)_p$ は、検出素子Kが ΔEMF の最大値をとるときの検出素子Jの ΔEMF の値である。

【0032】同図から明らかなように、Y方向のずれdと、 $EMF(K)_p / \Delta EMF(J)_p$ とは、欠陥の深さに拘らずば一定の関係の有しており、したがって $\Delta EMF(K)_p / \Delta EMF(J)_p$ を測定すれば、逆にY方向のずれdが求められることとなる。例えば、 $\Delta EMF(K)_p / \Delta EMF(J)_p = 1.5$ の場合には、 $d = 0.25$ となる。このように、ステップ708で $\Delta EMF(K)_p / \Delta EMF(J)_p$ を測定することによりプローブ走査の基準線（前記検出素子K、C、A、Eの中心線）と、欠陥とのずれを同定することができる。

【0033】さらに、ステップ709では、前記ステップ707において求められた欠陥の長さ、と、ステップ708で求められた欠陥のY方向ずれdに基づいて、被検体の厚さ方向に関する該欠陥の位置、すなわち、上側欠陥（マイクロECTプローブ側にあるもの）であるか下側欠陥（マイクロECTプローブとは反対側にあるもの）であるか、及びその深さが判定される。

【0034】図11乃至図12は一例として長さが5mmの欠陥について、前記Y方向ずれdが0mm、0.5mm、及び1.0mmのそれぞれの場合の、欠陥の深さと、検出素子Kの ΔEMF 並びに位相差 ϕ との関係を示す線図であるが（図11は上側欠陥の場合、図12は下側欠陥の場合である。）、前記ステップ708で欠陥のY方向ずれdが求められているから、これらの線図に基づいて、検出素子Kの ΔEMF 及び位相差 ϕ の値から次のようにして被検体の厚さ方向に関する欠陥の位置（上側欠陥か下側欠陥か、欠陥の深さ）が同定できる。

【0035】すなわち、図11（上側欠陥）と図12（下側欠陥）の双方についてそれぞれ、検出素子Kの ΔEMF の値と、同じく検出素子Kの位相差 ϕ の値とから欠陥の深さを求める。そして、 ΔEMF から求めた深さと、位相差 ϕ から求めた深さとが、より一致した方がその欠陥の側（上側欠陥又は下側欠陥）となり、該値が欠陥の深さとなる。

【0036】例えば、Y方向ずれdが0.25mm、検出素子Kの ΔEMF が2.00mV、位相差 ϕ が22degの場合には、図11(a)から欠陥深さは90%、同図の(b)から欠陥深さは90%となる(ずれ0mmの線図とずれ0.5mmの線図との中間の線図を考える)。一方、図12(a)からは欠陥深さは95%となり、同図の(b)からは欠陥深さは90%となる。したがって、(a)から求められた深さと(b)から求められた深さが、より一致した方、すなわち、当該欠陥は上側欠陥であることが判り、その深さは、90%である。

【0037】なお、前記ステップ706で検出素子K、C、A、Eにより同時に ΔEMF が検出されない場合には、当該欠陥はX方向欠陥ではなく、Y方向欠陥であると判断し、ステップ712によりY方向欠陥の定量評価を行う。なお、このY方向欠陥の定量評価は、前記X方向欠陥に関する定量評価であるステップ707乃至709と同様の評価をY方向に関して行うものである。

【0038】本実施例に係る探傷検査方法に用いられる検出素子は、前述のようにフォトリソグラフィ技術により作製された銅製マイクロコイルにより構成されているため、銅製線を芯に巻くことにより作製していた従来の装置に比べ、次のような利点がある。

【0039】すなわち、前記銅製マイクロコイルは一層に巻かれるものであるから、コイルの厚みをコイルの線幅と同程度に薄くでき(0.01mm以下程度)、また、コイルの外径寸法を小さくできるとともにコイルの巻数を増やすことができる。したがって、これにより微小欠陥の検出が可能な高感度の検査装置を実現することができる。さらに、該コイルはフォトリソグラフィ技術により形成されるため、線の巻きむらがなく、高性能なコイルを作製できると共に、品質の均一性を図ることができ、品質管理が容易となる。

【0040】さらに、本発明の別の実施例に係る探傷検査装置を説明する。この実施例に係る検査装置は、前記図1乃至図2に示したマイクロECTプローブ1の代わりに図13乃至図14に示すようなマイクロECTプローブ101を備えるものであり、この検査装置は平板状でない被検体の探傷を行うのに最適なものである。

【0041】図13は本実施例のマイクロECTプローブの側断面図、図14は図13のA-A矢視断面図であるが、これらの図に示すように、本実施例では、マイクロECTプローブ101の形状が被検体107(円筒管)の形状に沿ったものとされており、各検出素子105、105aが被検体107の表面形状に沿って二次元的に配列されている。また、励起コイル102の両面に、前記複数の検出素子105、105aが配列された磁気検出器104、104aが一体に設けられている(以下、被検体側(図の下側)の磁気検出器104を「下側検出器」、その反対側(図の上側)の磁気検出器104aを「上側検出器」と称する。))。

【0042】本実施例においては、マイクロECTプローブ101は円筒管107の内壁面に沿って移動され、前記実施例と同様に被検体の走査、データのとり込み、処理が行われるが、本実施例の検査装置では、前述のようにマイクロECTプローブ101が被検体の表面形状に沿った形状とされているため、検査時(走査時)に複数の検出素子105のすべてを被検体107に一定の距離を隔てて近接させることが可能となる。

【0043】したがって、検出素子105の一部(例えば、中央部のもの)が被検体107から離れることによる外乱ノイズの混入を防止することができ、S/N比の向上、欠陥検出能力の向上を図ることができる。

【0044】さらに、前記上側検出器104aにより得られた検出信号と、下側検出器104により得られた検出信号とを足し合わせることで、励起コイル102が作る磁場を打ち消すことで、欠陥により生じた磁場の変化分の測定が容易となり、検出感度が向上する。

【0045】

【発明の効果】以上説明したとおり、本発明によれば、従来の渦電流探傷検査法に比べて格段に高精度の探傷検査を行うことができると共に、欠陥形状の定量評価をも行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係る探傷検査装置が備えるマイクロECTプローブの構成を示す側面図である。

【図2】前記実施例に係る探傷検査装置が備えるマイクロECTプローブの構成を示す平面図である。

【図3】前記マイクロECTプローブが備える検出素子の構成を示す拡大平面図である。

【図4】前記実施例に係る探傷検査装置の全体構成を示すブロック図である。

【図5】前記実施例におけるマイクロECTプローブによる走査の様子を説明する側面図(a)、及び平面図(b)である。

【図6】図5のマイクロECTプローブの拡大平面図である。

【図7】前記実施例に係る探傷検査装置による探傷検査の手順を示すフローチャートである。

【図8】長さ3mmの欠陥について、プローブの位置と、検出素子Kの起電力 EMF 及び位相との関係を示す線図である。

【図9】Y方向のずれdを定義する説明図である。

【図10】被検体の厚さ方向に対する欠陥の深さが20%~100%の欠陥について、Y方向のずれd(横軸)と、 $\Delta EMF(K)$ 、 $\angle \Delta EMF(J)$ 、 r_x (縦軸)との関係を示す線図である。

【図11】欠陥の深さと、検出素子Kの ΔEMF 並びに位相差 ϕ との関係を示す線図である(欠陥の長さ5mm、上側欠陥の場合)。

【図12】同じく欠陥の深さと、検出素子Kの ΔEMF

並びに位相差 ϕ との関係を示す線図である（欠陥の長さ5mm、下側欠陥の場合）。

【図13】本発明の別の実施例に係る探傷検査装置が備えるマイクロECTプローブの構成を示す側断面図である。

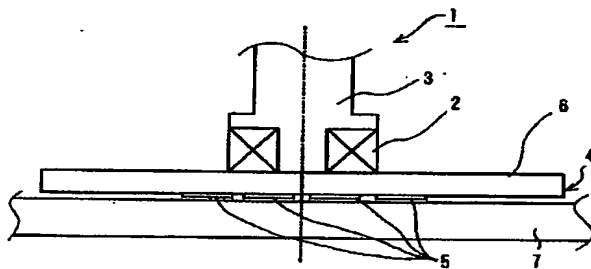
【図14】図13のA-A矢視断面図である。

【符号の説明】

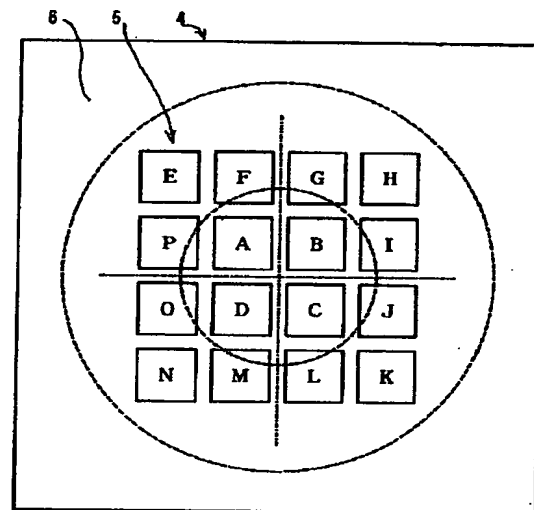
- 1, 101 マイクロECTプローブ
2, 102 励起コイル
3 励起コイル用芯
4, 104, 104a 磁気検出器

- * 5, 105, 105a 検出素子
6 石英基盤
7, 107 被検体（被検査物）
42 XYZ θ ステージ
43 XYZ用ステージコントローラ
44 θ 用ステージコントローラ
45 ファンクションシンセサイザ
46 リレーボード
47 ロックインアンプ
10 48 コンピュータ
* 尚、各図中同一符号は同一又は相当部分を示す。

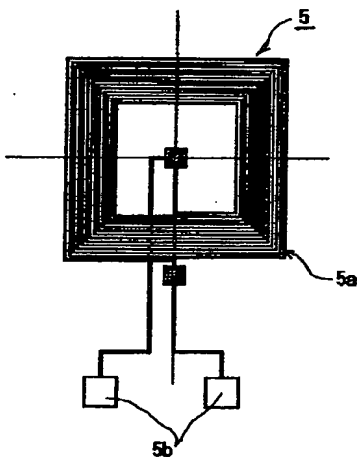
【図1】



【図2】



【図3】

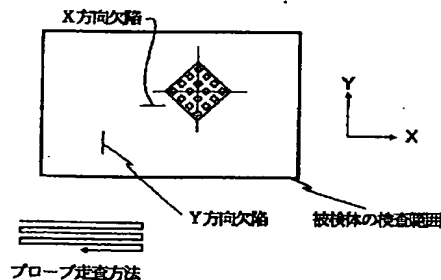


【図5】

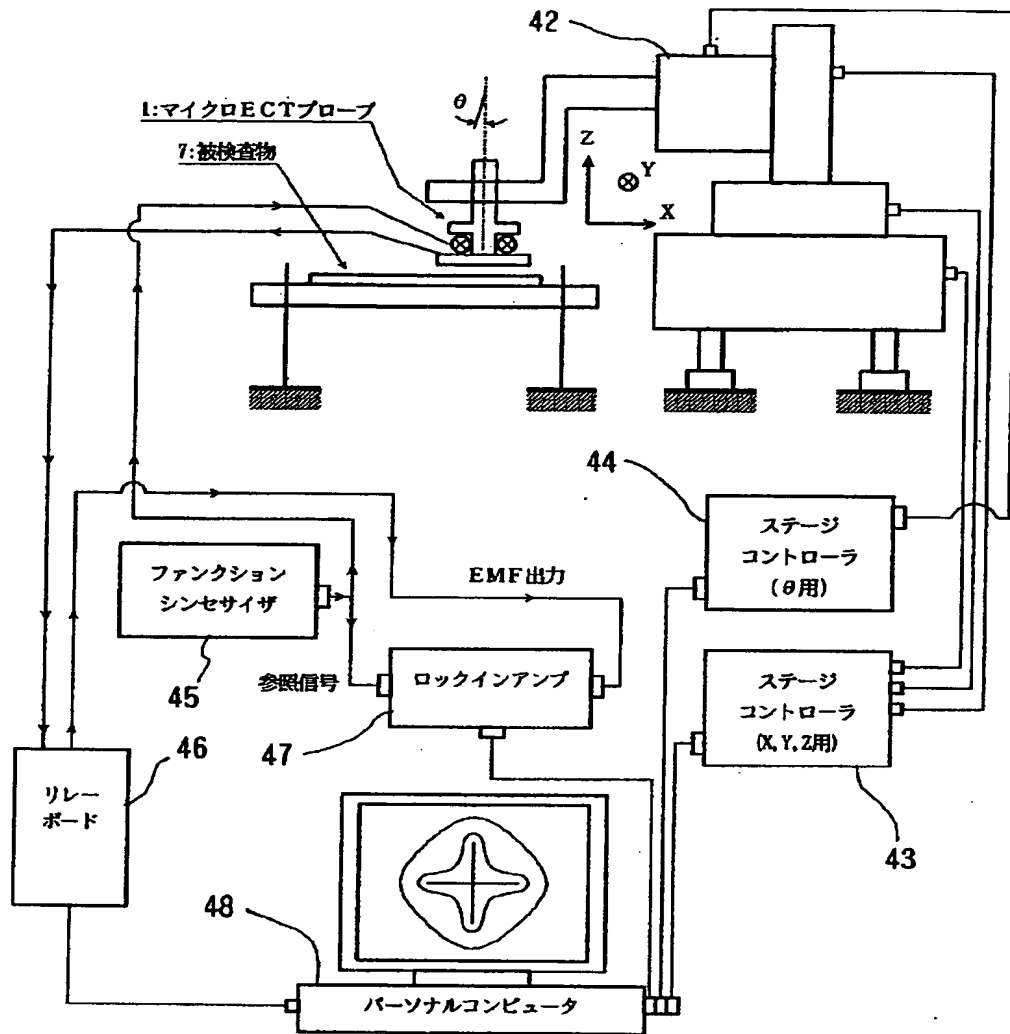
(a)



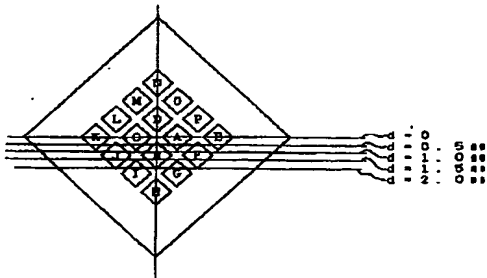
(b)



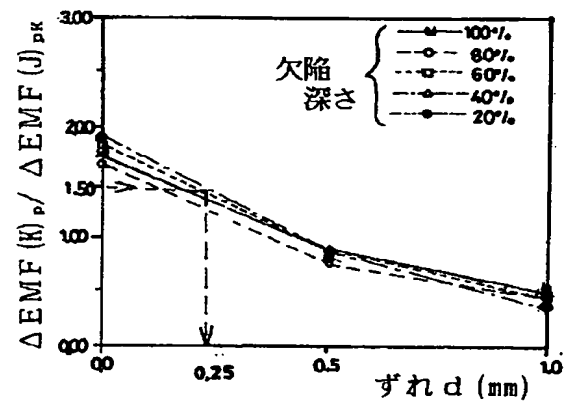
【図4】



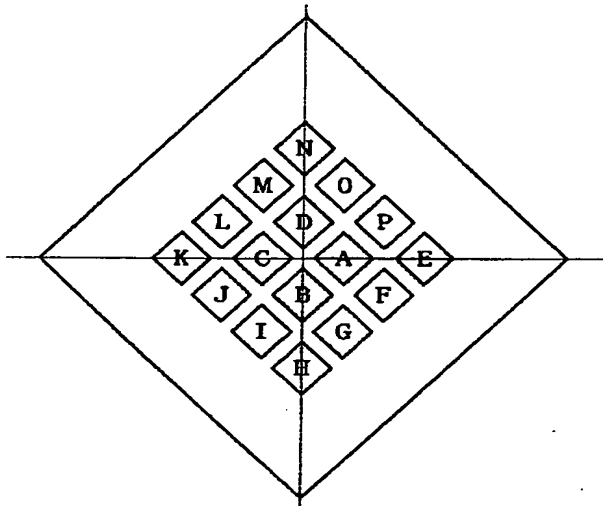
【図9】



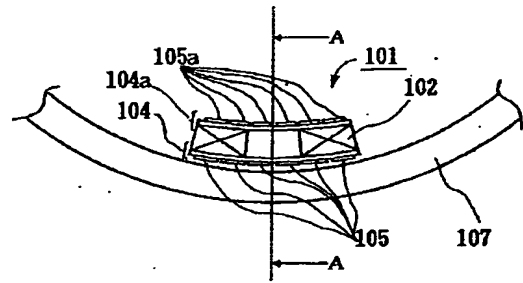
【図10】



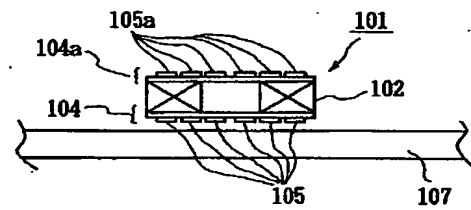
【図6】



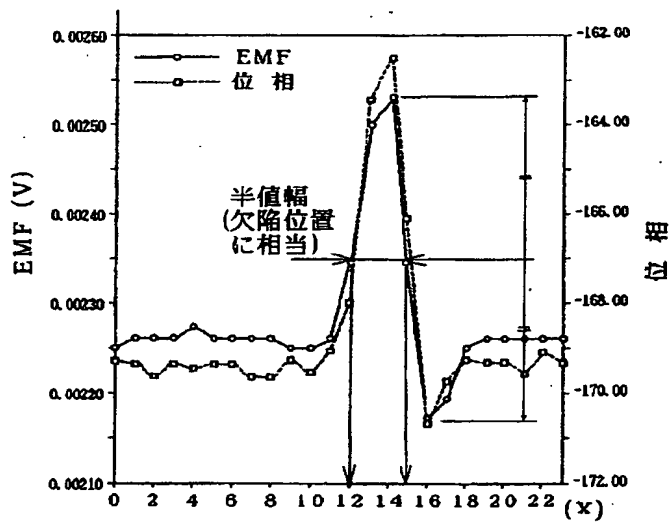
【図13】



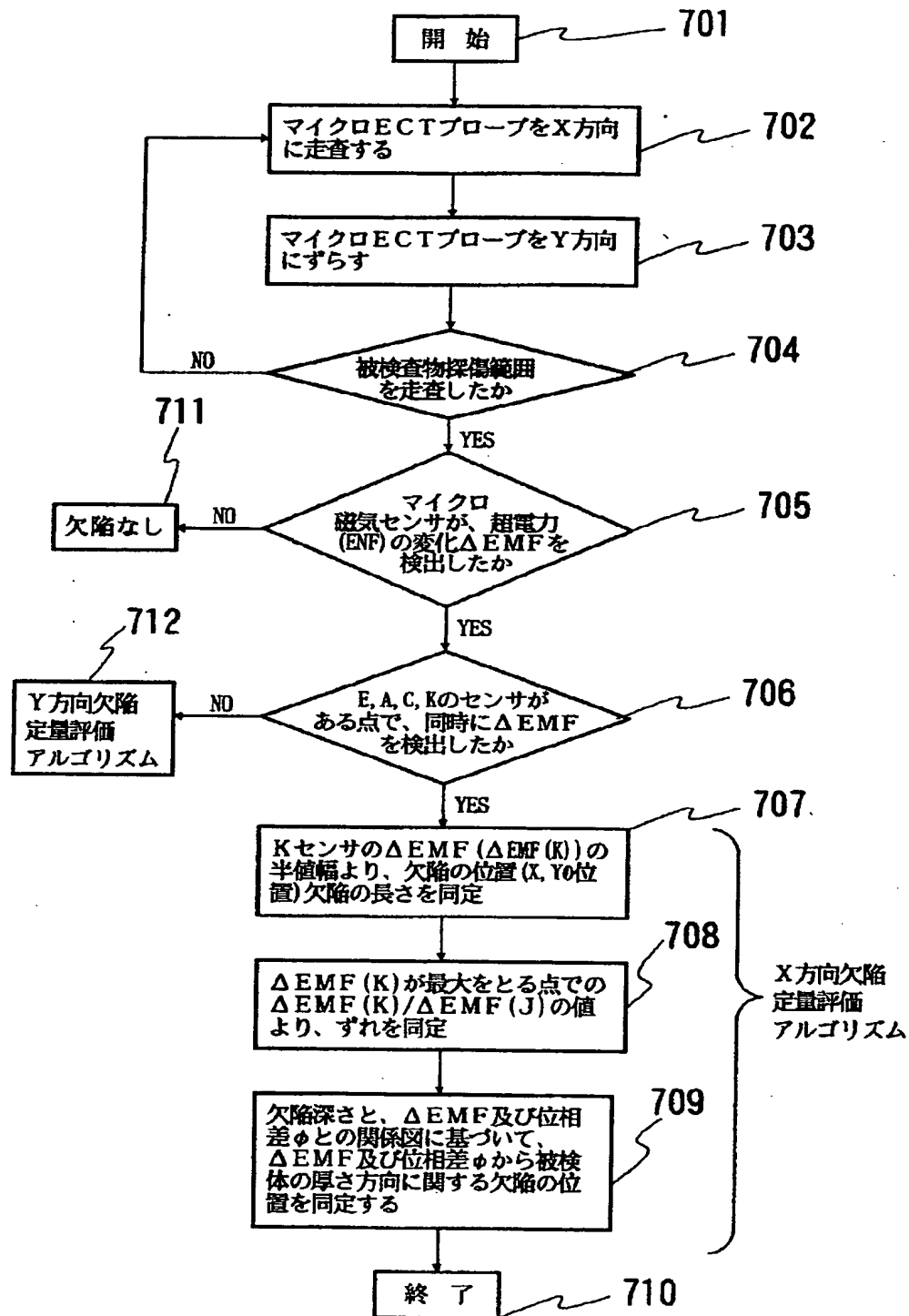
【図14】



【図8】

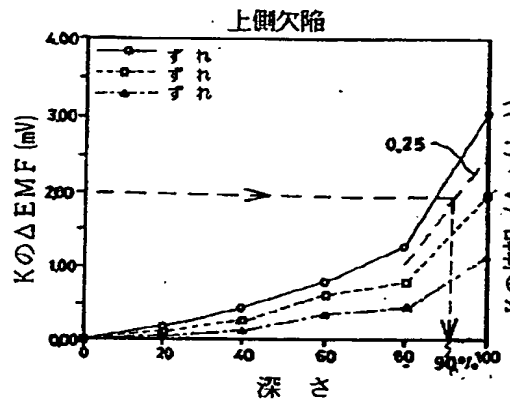


【図7】

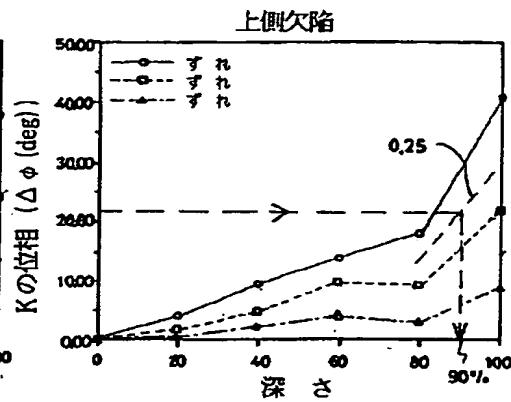


【図11】

(a)

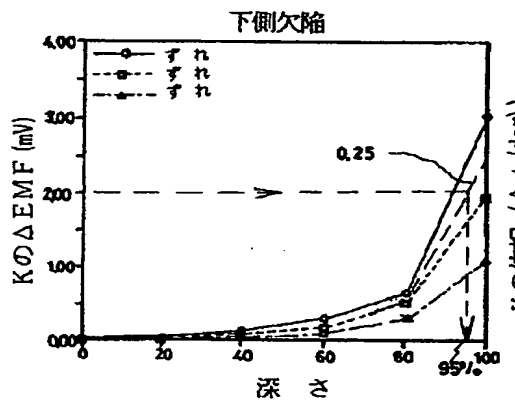


(b)

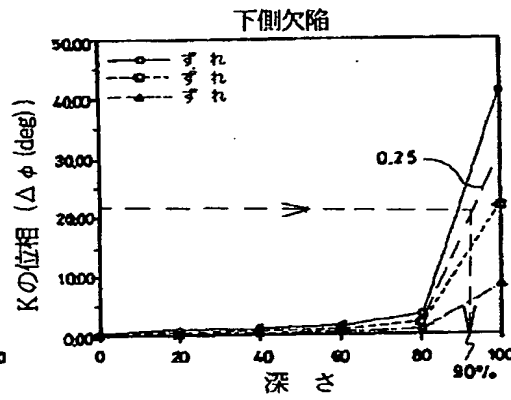


【図12】

(a)



(b)



【手続補正書】

【提出日】平成6年1月10日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 被検体に対して交流磁場を印加すると共に該交流磁場の变化を磁気検出手段により検出しつつ被検体の探傷検査範囲を走査して該被検体に存在する欠陥を検査する探傷検査方法であって、前記磁気検出手段は、前記走査方向と、該走査方向と交

叉する方向とに二次元的に配列された複数の磁気検出素子を有するものであり、

該磁気検出手段の複数の磁気検出素子を用いて、被検体表面に交叉する磁場の強度及び／又は位相の変化の分布を測定することにより前記欠陥を検出することを特徴とする探傷検査方法。

【請求項2】 被検体に対して交流磁場を印加する交流磁場印加手段と、磁場の強度を測定する二次元的に配列された複数の検出素子を有する磁気検出手段とを備えた探傷検査用センサと、

前記探傷検査用センサと前記被検体とを近接させつつ両者の相対位置を変化させる移動手段とを備え、

前記磁気検出手段の複数の検出素子を用いて、被検体表面に交叉する磁場の強度及び／又は位相の変化の分布を測定することにより前記欠陥を検出することを特徴とする探傷検査装置。

【請求項3】 被検体に対して交流磁場を印加する交流磁場印加手段と、磁場の強度を測定する二次元的に配列された複数の検出素子を有する磁気検出手段とを一体に備えてなる探傷検査用センサ。

【請求項4】 前記磁気検出手段の複数の検出素子は、被検体の表面形状に沿って配列されたものであることを特徴とする請求項2に記載の探傷検査装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正内容】

【0012】

【作用】前記のように構成された本発明においては、被検体に対して交流磁場を印加すると共に該交流磁場の変化を前記磁気検出手段により検出しつつ被検体の深傷検査範囲を走査する。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正内容】

【0013】 磁気検出手段は、前述のように走査方向と、該走査方向と交叉する方向とに二次元的に配列された複数の磁気検出素子を有するものであり、このような磁気検出手段の複数の磁気検出素子を用いて被検体表面に交叉する磁場の強度及び／又は位相の変化の分布を測定することで、欠陥の存在、並びにその欠陥の長さや深さ、向きなどの欠陥形状の検出が可能となる。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】変更

【補正内容】

【0014】 また、請求項4の発明においては、前述のように磁気検出手段の複数の検出素子が被検体の表面形状に沿って配列されているため、検査時に該複数の検出素子のすべてを被検体に一定の距離を隔てて近接させることが可能となる。したがって、検出素子の一部が被検体から離れることによる外乱ノイズの混入を防止することができ、S/N比の向上、欠陥検出能力の向上が図られる。以下、実施例を通じて本発明をさらに詳しく説明する。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0028

【補正方法】変更

【補正内容】

【0028】 ステップ706では欠陥の向きが判定されるが、検査範囲内のある点において前記検出素子K、C、Jにより同時に ΔEMF が検出された場合には、該点においてX方向に延在する欠陥があるものとの判定がなされ（「X方向欠陥」と称する。）。これに対して検出素子Hから ΔEMF が検出された場合はY方向に延在する欠陥があるものとの判定がなされ（「Y方向欠陥」と称する。）、それぞれステップ707、712に進む。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0031

【補正方法】変更

【補正内容】

【0031】 図10は被検体の厚さ方向に対する欠陥の深さが20%～100%の欠陥について、前記Y方向のずれd（横軸）と、 $\Delta EMF(K)$ 、 $\Delta EMF(J)$ （縦軸）との関係を示す線図である。なお、 $\Delta EMF(K)$ 、 $\Delta EMF(J)$ は、検出素子K、Jの ΔEMF の最大値である。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0032

【補正方法】変更

【補正内容】

【0032】 同図から明らかなように、Y方向のずれdと、 $\Delta EMF(K)$ 、 $\Delta EMF(J)$ とは、欠陥の深さに拘らずほぼ一定の関係を有しており、したがって $\Delta EMF(K)$ 、 $\Delta EMF(J)$ を測定すれば、逆にY方向のずれdが求められることとなる。例えば、 $\Delta EMF(K)$ 、 $\Delta EMF(J) = 1.5$ の場合には、 $d = 0.25$ となる。このように、ステップ708で $\Delta EMF(K)$ 、 $\Delta EMF(J)$ を測定することによりプローブ走査の基準線（前記検出素子K、C、A、Eの中心線）と、欠陥とのずれを同定することができる。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0037

【補正方法】変更

【補正内容】

【0037】 Y方向欠陥の定量評価には検出素子Hを割り当てる。Y方向欠陥が検出素子Hの真下に位置するときの両者の相対位置は、X方向欠陥が検出素子Kの真下に位置するときのそれと全く同じである。しかし、Y方向欠陥はプローブ走行時、必ずその位置を通過する。したがって、検出素子Hの ΔEMF と位相の最大値をY方向ピッチ刻みでY方向座標に対してプロットすれば、

それらの波形は、ずれ0mmのX方向欠陥による検出素子Kから得られる波形と全く同じとなる。よって、ステップ707と全く同様に、EMFに関する波形の半値幅より長さや位置が判定され、ずれ0mmと設定することにより、ステップ709にて、欠陥深さと上・下側の判定が可能となる。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0041

【補正方法】変更

【補正内容】

【0041】 図13は本実施例のマイクロECTプローブの側断面図、図14は図13のA-A矢視断面図であるが、これらの図に示すように、本実施例では、マイクロECTプローブ101の形状が被検体107（円筒管）の形状に沿ったものとされており、検出素子105が被検体107の表面形状に沿って二次元的に配列され、励起コイル102の下面に、前記検出素子105が配列された磁気検出器104が一体に設けられている。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0044

【補正方法】変更

【補正内容】

【0044】

【発明の効果】以上説明したとおり、本発明によれば、従来の渦電流探傷検査法に比べて格段に高精度の探傷検査を行うことができると共に、欠陥形状の定量評価をも行うことが可能となる。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0045

【補正方法】削除

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図10

【補正方法】変更

【補正内容】

【図10】 被検体の厚さ方向に対する欠陥の深さが20%～100%の欠陥について、Y方向のずれd（横軸）と、 $\Delta EMF(K)$ 、 $\angle \Delta EMF(J)$ 。（縦軸）との関係を示す線図である。

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】符号の説明

【補正方法】変更

【補正内容】

【符号の説明】

1, 101	マイクロECTプローブ
2, 102	励起コイル
3	励起コイル用芯
4, 104	磁気検出器
5, 105	検出素子
6	石英基盤
7, 107	被検体（被検査物）
42	XYZθステージ
43	XYZ用ステージコントローラ
44	θ用ステージコントローラ
45	ファンクションシンセサイザ
46	リレーボード
47	ロックインアンプ
48	コンピュータ

尚、各図中同一符号は同一又は相当部分を示す。

【手続補正14】

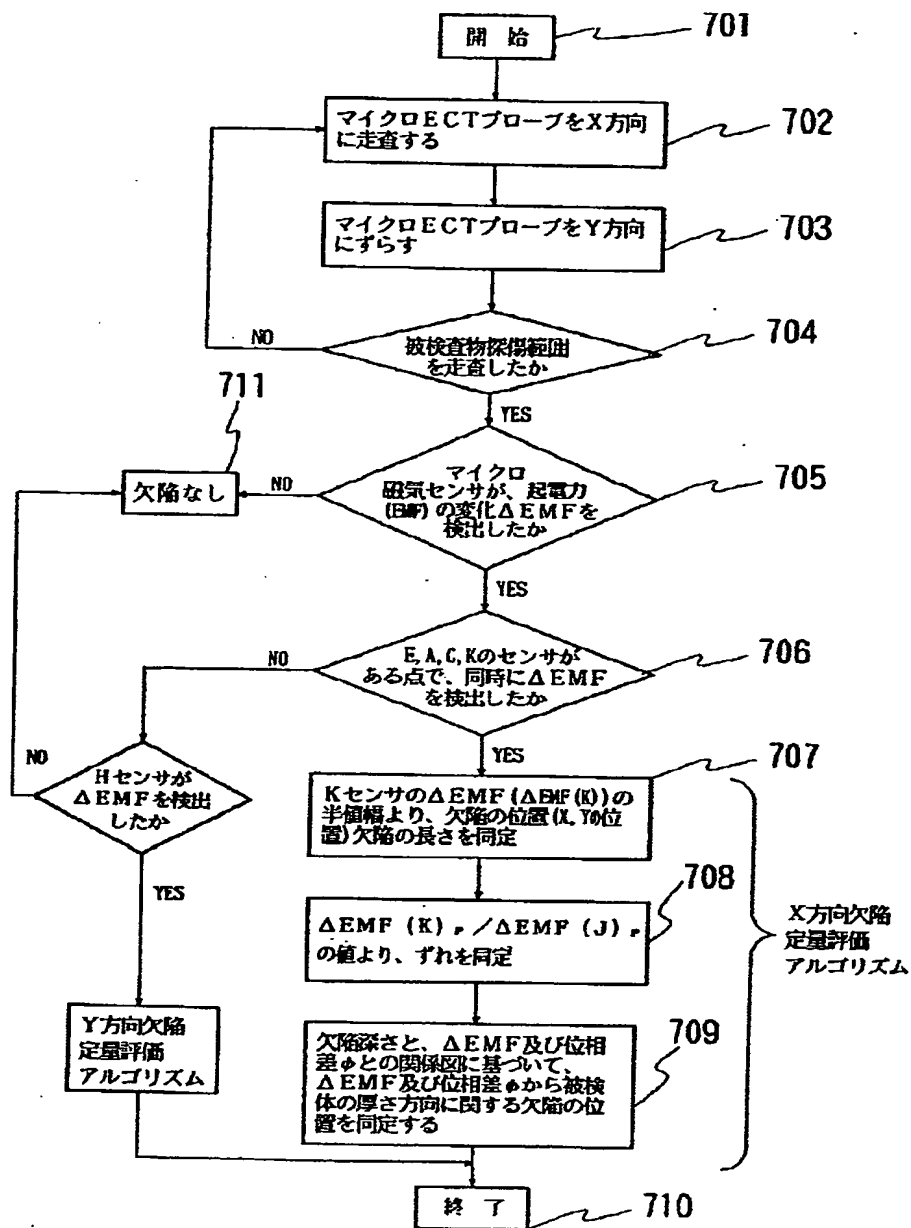
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図7

【補正方法】変更

【補正内容】

【図7】



【手続補正15】

【補正対象書類名】図面

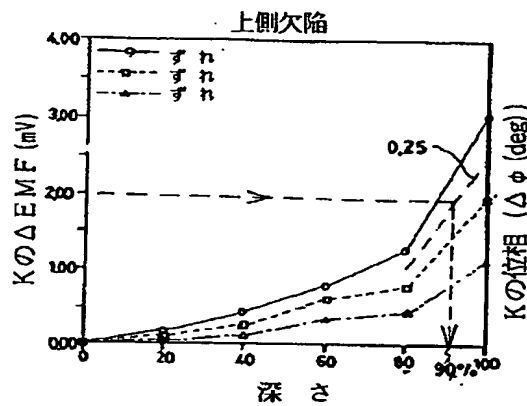
【補正対象項目名】図11

【補正方法】変更

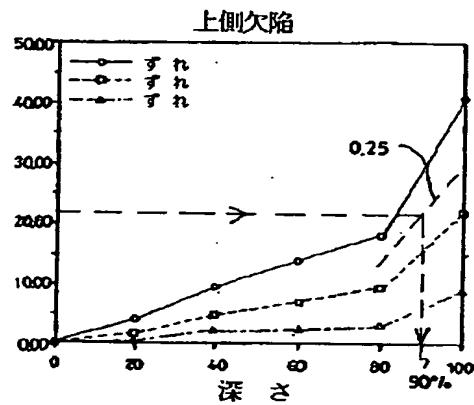
【補正内容】

【図11】

(a)



(b)



【手続補正16】

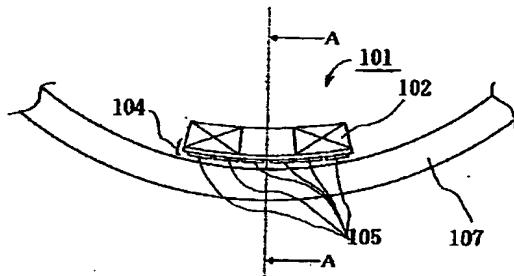
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図13

【補正方法】変更

【補正内容】

【図13】



*【手続補正17】

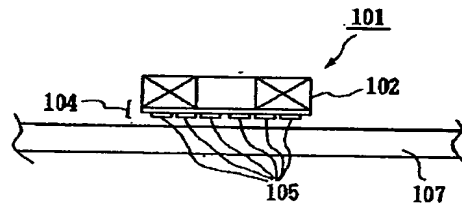
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図14

【補正方法】変更

【補正内容】

【図14】



*

フロントページの続き

(72)発明者 宮 健三

茨城県那珂郡東海村白方白根2番地の22
東京大学工学部附属原子力工学研究施設内

(72)発明者 上坂 充

茨城県那珂郡東海村白方白根2番地の22
東京大学工学部附属原子力工学研究施設内

(72)発明者 笠井 一夫

兵庫県尼崎市扶桑町1番10号 住友精密工
業株式会社内

(72)発明者 佐藤 安彦

兵庫県尼崎市扶桑町1番10号 住友精密工
業株式会社内

(72)発明者 青木 一彦

大阪府大阪市鶴見区諸口3丁目1番17-
406

(72)発明者 小松 英伸

大阪府堺市南長尾町2丁3番10-205

(72)発明者 松本 善博

大阪府堺市新家町49番地の1